# Лаборатория численного моделирования сейсмических полей 2011

Зав лабораторией академик РАН Б.Г.Михайленко

Важнейшие достижения

Разработана технология параллельных вычислений для численного моделирования сейсмических волновых полей в трехмерно-неоднородных разномасштабных средах. Расчет волновых полей для реалистичных моделей геологических сред большой размерности требует специальной организации параллельного ввода/вывода данных с помощью специализированных библиотек MPI-2 I/O, с учетом спецификации целых с адресным диапазоном > 2\*\*32 (проблема ILP 64). Для увеличения скорости работы параллельных программ применяется метод трехмерной декомпозиции области с использованием неблокирующих коммуникационных обменов для совмещения выполнения вычислительных и коммуникационных операций. (д.ф.-м.н. Г.В. Решетова)

Отчет по этапам НИР, завершенным в 2011 году в соответствии с планом НИР института

Проект НИР 1.4.1.1. «Математическое моделирование природных и техногенных геофизических полей в средах сложной геометрии и реологии»

(№ госрегистрации 01201002449)

(Научный руководитель проекта–– академик РАН Б.Г. Михайленко)

Раздел 1. «Математическое моделирование в задачах геофизики, физики океана и атмосферы и охраны окружающей среды»

(Руководитель–– академик РАН Б.Г. Михайленко)

Разработаны эффективные численно-аналитических методы и алгоритмы решения прямых динамических задач сейсмики и геоэлектрики с учетом развития гибридных вычислительных комплексов. Разработан метод локального пространственно-временного измельчения сеток в трехмерном пространстве и получена оценка уровня интенсивности артефактов, возникающих в областях с изменением величины шагов.

Результаты работ по проектам РФФИ

Проект РФФИ № 11-05-00937 «Моделирование взаимодействия сейсмических и акустических волн для неоднородной модели Земля–Океан–Атмосфера» (Руководитель–– академик РАН Б.Г. Михайленко)

Разработан алгоритм и создана параллельная программа для решения задачи распространения упругих волн от распределенных источников различного типа. Развит и обоснован пошаговый метод, основанный на преобразовании Лагерра по времени для решения динамических задач теории упругости. Проведена серия численных экспериментов с целью изучения структуры волнового поля от сосредоточенного источника расположенного на границе Земля–Атмосфера.

Проект РФФИ № 10-05-00233 «От микроструктуры к макромодели трещиноватокавернозных резервуаров: гомогенизация, проявление флюидонасыщенности, описание рассеянных волн»

(Руководитель–– д.ф.м.н. Г.В. Решетова)

Для описания напряженно-деформированного состояния упругих сред с разномасштабной флюидонасыщенной кавернозно-трещиноватой структурой разработаны термодинамически согласованные модели и соответствующие им определяющие дифференциальные уравнения. На основе построенных моделей получены системы уравнений для описания сейсмических и сейсмоакустических волновых полей в таких средах. Для численного решения систем, описывающих взаимодействие волновых полей с микроструктурой пласта–коллектора, предложены высокоточные численные методы и алгоритмы, основанные на конечно-разностном методе расчета волновых полей в разномасштабных средах, использующем сетки с локальным пространственно-временным измельчением.

Результаты работ по научно-исследовательским программам, проектам Президиума РАН, ОМН РАН и Сибирского отделения РАН

Проект РАН № 2.7 «Решение многомерных задач вычислительной геофизики на многоядерных вычислительных системах с общей и распределенной памятью» (Руководители–– академик РАН А.Н. Коновалов, академик РАН Б.Г. Михайленко)

Предложена модификация метода решения динамических задач теории упругости, использующий преобразование Лагерра по времени. Суть данного подхода состоит в том, что преобразование Лагерра используется на последовательности конечных интервалов по времени. Полученное решение в конце одного временного отрезка используется в качестве начальных данных для решения задачи на следующем временном отрезке.

Создан научно-исследовательский комплекс программ для моделирования волновых полей в трехмерных неоднородных сложно построенных упругих средах на многоядерных вычислительных системах с использованием технологий параллельного программирования MPI и OpenMP.

Проект РАН № 16.2. «Разработка методов локализации сейсмоопасных зон дилатансии в земной коре на основе модели сейсмических процессов в сложно-построенных (трещиноватых, флюидонасыщенных, упруго-пористых) средах» (Руководитель–– академик РАН Б.Г. Михайленко)

Численно решена система линеаризованных уравнений для двухмерной динамической задачи распространения сейсмических волн в пористых средах с учетом диссипации энергии. Исходная система записывается в виде гиперболической системы в терминах скоростей матрицы, скорости насыщающей жидкости, тензора напряжений и давления жидкости. Для численного решения поставленной задачи используется метод комплексирования аналитического преобразования Лагерра и конечно-разностного метода.

Проект РАН № 2.2 «Разработка новых численных моделей сложных многомерных геофизических и атмосферно-физических процессов»

(Руководители–– академик РАН Б.Г. Михайленко, д.ф.м.н. Б.А. Каргин)

В результате серии численных экспериментов и обработки геологических данных была построена математическая модель верхней части грязевого вулкана «Гора Карабетова», которая по кинематическим характеристикам соответствует данным, полученным в результате полевых наблюдений. Для пошагового метода Лагерра предложен способ выбора необходимых параметров, обеспечивающих высокую точность и устойчивость при численных расчетах.

Интеграционный проект ОНЗ-7.5 (2009-2011) «Изучение глубинного строения земной коры и верхней мантии Горного Алтая методами магнитно-теллурических и нестационарных электромагнитных зондирований»

(Руководитель–– академик РАН М.И. Эпов, исполнитель–– И.В. Суродина) Выполнена модернизация программ двумерного моделирования MTЗ.

Государственный контракт № 14.740.11.0350 с Минобрнауки России (2010–2012г.г.) ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России»

Лот «Проведение научных исследований коллективами научно-образовательных центров в области математики», тема «Фундаментальные проблемы математического моделирования и вычислительной математики»

(Руководитель–– академик РАН Б.Г. Михайленко)

Создан комплекс параллельных программ для решения прикладных геофизических задач, связанных с моделированием сейсмических полей. Результаты расчетов используются при интерпретации экспериментальных данных в сейсмологии и сейсморазведке. Разработана типичная базовая сейсмогеологическая модель, описывающая строение ряда месторождений Юрубчено-Тохомской зоны. Возможность внедрять в эту модель системы различных микронеоднородностей (разной концентрации, ориентации, флюидонасыщенности, различных преимущественных размеров) позволяет проводить представительную серию численных экспериментов, направленную на выяснение основных особенностей формирования рассеянных волн и проявления в них тонкой структуры субсейсмических объектов. В течение года были выяснены основные отличия, характерные для флюидонасыщенных систем трещин,–– формирование устойчивых вторичных источников.

Совместный ИП СО РАН № 133 «Разработка многодисциплинарных математических моделей и экспериментальных методов изучения зон подготовки землетрясений и вулканической деятельности»

(Координатор––академик РАН Б.Г. Михайленко, исполнитель––д.т.н. В.В. Ковалевский) См. отчет лаборатории Ковалевского В.В.

Публикации

## Центральные издания

1. Бурмин В.Ю., Мирошников В.В., Фатьянов А.Г. О возможной природе сейсмического «звона» на Луне // Наука и технологические разработки.–– 2011.–– Т. 90, № 2.–– С. 30–38.
2. Костин В.И., Лисица В.В., Решетова Г.В., Чеверда В.А. Конечно-разностный метод численного моделирования распространения сейсмических волн в трехмерно-неоднородных разномасштабных средах // Вычислительные методы и программирование.–– 2011.–– Т. 12.–– С. 321–329.
3. Лисица В.В., Чеверда В.А., Решетова Г.В. и др. Проявления кавернозно-трещиноватых резервуаров в сейсмических полях: численное моделирование и полевые наблюдения // Вычисления в геологии.–– 2011.–– № 2.–– С. 12–19.
4. Урев М.В. Сходимость дискретной схемы в методе регуляризации квазистационарной системы Максвелла в неоднородной проводящей среде // СибЖВМ. –– 2011. –– Т. 14, № 3. –– С. 319–332.

## Зарубежные издания

1. Fatyanov A.G., Terekhov A.V. High performance acoustic and elastic waves using the parallel dichotomy algorithm // J. Computational Physics.–– 2011.–– Vol. 230, № 5.–– P. 1992–2003.
2. Soboleva O.N., Kurochkina E.P. Effective coefficients of quasi-steady Maxwell’s equations with multiscale isotropic random conductivity // Physica A: Statistical Mechanics and its Applications.–– 2011.–– Vol. 390, № 2.–– P. 231–244.
3. Kostin V., Lisitsa V., Reshetova G., Tcheverda V. Simulation of Seismic Waves Propagation in Multiscale Media: Impact of Cavernous/Fractured Reservoirs // Lect. Notes Comput. Sci.–– 2011.–– Vol. 7133.–– P. 1–11: Pt. I. Applied Parallel and Scientific Computing.
4. Terekhov A. Parallel dichotomy algorithm for solving tridiagonal system of linear equations with multiple right-hand sides // Parallel Comput.–– 2010.–– Vol. 36, № 8.–– P. 423–438 (Не вошла в отчет 2010 г.).
5. Timofeev I.V., Terekhov A.V. Simulations of turbulent plasma heating by powerful electron beams // Phys. Plasmas.–– 2010.–– Vol. 17.–– P. 83–111 (Не вошла в отчет 2010 г.).

## Материалы международных конференций и совещаний

1. Reshetova G.V., Lisitsa V.V., Tcheverda V.A., Pozdnyakov V.A. Impact of cavernous/fractured reservoirs to scattered seismic waves in 3D heterogeneous media: Accurate numerical simulation and field study // Technical Program Expanded Abstracts.––2011.––Vol. 30, № 1.––P. 2875–2880: Abstr. 81st SEG, San Antonio, USA, 18–23 September 2011.
2. Reshetova G., Kostin V., Lisitsa V., Tcheverda V. Accurate finite-difference simulation of scattered seismic waves generated by heterogeneities of subseismic scale // Proc. 10th Intern. Conf. on the Mathematical and Numerical Aspects of Waves.–– Vancouver, 2011.–– P. 679–682.
3. Reshetova G., Mikhailenko B. Study of the coupling of seismic waves in the lithosphere and acoustic waves in the atmosphere based on numerical simulation // Proc. 10th International Conference on Theoretical and Computational Acoustics (ICTCA 2011).–– Taipei, 2011.–– P. 223–232.
4. Lisitsa V.V., Reshetova G.V., Tcheverda V.A. Interaction Of Seismic Waves With Cavernous Fractured Reservoirs: Numerical Simulation And Field Study // Ibid.–– P. 683–687.

## Прочие публикации

1. Soboleva O.N., Kurochkina E.P. Effective coefficients of Maxwell’s equations with multiscale isotropic random conductivity and permittivity // Proc. Conf. «Applied methods of statistical analysis. Simulations and Ststistical Inference».–– Novosibirsk, 2011.–– P. 331–339.
2. Белоносов М.А., Решетова Г.В., Чеверда В.А. Численное моделирование сейсмических волн на основе интегрального преобразования Лагерра и метода альтернирования по Шварцу // Тр. XIV Всеросс. конф.-школы с междунар. участием «Современные проблемы математического моделирования».–– Новороссийск, 2011.–– C. 1–5.
3. Лисица В.В., Решетова Г.В., Чеверда В.А. и др. Распространение сейсмических волн в разномасштабных средах: численное моделирование и полевые наблюдения // Тр. второй конф. «Суперкомпьютерные технологии в нефтегазовой отрасли».–– М., 2011.–– C. 1–6.
4. Демидов Г.В., Мартынов В.Н., Михайленко Б.Г. Метод решения эволюционных задач использующий пошаговое преобразование Лагерра // Тр. Междунар. конф. «Современные проблемы прикладной математики и механики: теория, эксперимент и практика», посв. 90-летию со дня рождения академика Н.Н. Яненко. –– Новосибирск, 2011. –– http://conf.nsc.ru/files/conferences/niknik-90/fulltext/40361/51376/Demidov.pdf.

## Сдано в печать

1. Демидов Г.В., Мартынов В.Н., Михайленко Б.Г. Метод решения эволюционных задач использующий пошаговое преобразование Лагерра // Сибирский журнал вычислительной математики, 2012 (Принята к публикации).
2. Суродина И.В., Эпов М.И. Влияние биополимерных буровых растворов на диаграммы высокочастотного электромагнитного каротажа // Геология и геофизика (Принята к публикации).
3. Lisitsa V., Reshetova G., Tcheverda V. Finite-difference algorithm with local time-space grid refinement for simulation of waves // Computational Geosciences, 2011.- DOI: 10.1007/s10596011-9247-1 (Принята к публикации).
4. Иванов М.И., Кремер И.А., Урев М.В. Решение методом регуляризации квазистационарной системы Максвелла в неоднородной проводящей среде // Журн. вычисл. математики и матем. физики.–– 2012.–– Т. 52, № 3.
5. Суродина И.В., Эпов М.И. Влияние биополимерных буровых растворов на диаграммы высокочастотного электромагнитного каротажа // Геология и геофизика (Принята к публикации).

## Общее количество публикаций

Центральные издания — 4 Зарубежные издания — 5

Материалы международных конференций — 4

Участие в конференциях и совещаниях

1. The Twentieth International Conference on Domain Decomposition Methods, San Diego, CA, USA, February 2011.–– 2 доклада (Решетова Г.В.).
2. 81st SEG Annual Meeting, San Antonio, USA, 18–23, September 2011. –– 1 доклад (Решетова Г.В.).
3. Еhe 10th International Conference on the Mathematical and Numerical Aspects of Waves, Vancouver, Canada, July 25–29, 2011.–– 1 доклад (Решетова Г.В.).
4. 10*th* International Conference on Theoretical and Computational Acoustics (ICTCA 2011), Taipei, Taiwan, 24–29 April, 2011.–– 1 доклад (Решетова Г.В.).
5. The Conference «Applied Methods of Statistical Analysis. Simulations and Ststistical Inference», Novosibirsk, 20–22 September, 2011.–– 1 доклад (Решетова Г.В.).
6. XIV Всероссийская конференция-школа с международным участием «Современные проблемы математического моделирования», Новороссийск, 12–17 сентября 2011.–– 1 доклад (Решетова Г.В.).
7. Вторая конференция «Суперкомпьютерные технологии в нефтегазовой отрасли, Москва, 6–8 декабря 2011.–– 3 доклада (Михайленко Б.Г., Мартынов В.Н., Фатьянов А.Г., Решетова Г.В.).
8. The XXV IUGG General Assembly Earth on the Edge: Science for a Sustainable Planet, Melbourne, Australia, 28 June–7 July, 2011.–– 1 доклад (Решетова Г.В.).
9. Международная конференция «Современные проблемы прикладной математики и механики: теория, эксперимент и практика», посвященная 90-летию со дня рождения академика Н.Н. Яненко, Новосибирск, 30 мая–4 июня 2011.––1 доклад (Мартынов В.Н.).
10. Третья международная молодежная научная школа-конференция «Теория и численные методы решения обратных и некорректных задач», Новосибирск, 10–15 октября 2011.–– 1 доклад (Мартынов В.Н., Михайленко Б.Г.).
11. Всероссийская конференция по вычислительной математике КВМ-2011, Новосибирск, 29 июня–1 июля 2011.–– 2 доклада (Соболева О.Н., Суродина И.В.).
12. Конференция «Научный сервис в сети интернет экзафлопное будущее», АбрауДюрсо, 19–24 сентября 2011.–– 1 доклад (Терехов А.В). Всего докладов — 15

## Участие в программных и организационных комитетах конференций

1. Михайленко Б.Г.––председатель организационного комитета всероссийской конференции по вычислительной математике (КВМ-2011).
2. Михайленко Б.Г.––член программного комитета третьей международной молодежной научной школы-конференции «Теория и численные методы решения обратных и некорректных задач».
3. Михайленко Б.Г.––член программного комитета международной конференции «Суперкомпьютерные технологии математического моделирования», Якутск, 28–30 ноября 2011.

Кадровый состав (на 31.12.2011 г.)

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 1. | Михайленко Б.Г. | директор, академик РАН |
| 2. | Урев М.В. | внс, д.ф.-м.н. |
| 3. | Фатьянов А.Г. | внс, д.ф.-м.н. |
| 4. | Алексеев А.А. | снс, к.ф.-м.н. |
| 5. | Мартынов В.Н. | снс |
| 6. | Мастрюков А.Ф. | снс, к.ф.-м.н. |
| 7. | Решетова Г.В. | снс, д.ф.-м.н. |
| 8. | Соболева О.Н. | снс, д.ф.-м.н. |
| 9. | Суродина И.В. | снс, к.ф.-м.н. |
| 10. | Михайлов А.А. | нс, к.ф.-м.н. |
| 11. | Терехов А.В. | мнс, к.ф.-м.н. |
| 12 | Куликов А.И. | вед. программист |
| 12. | Чимаева Е.В. | вед. программист |
| 13. | Трибис Д.Ю. | программист |
| 14. | Гулина М.А. | инженер 1 кат. 0.5 ст. |
| 15. | Кабанихина Е.С. | инженер 1 кат. |

Терехов А.В.–– молодой научный сотрудник.

Педагогическая деятельность

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Михайленко Б.Г. | — | Зав. кафедрой «Математические методы в геофизике» НГУ |
| Куликов А.И. | — | Зав. каф. информационных технологий, член ученого совета ВКИ НГУ, руководитель специализации «Компьютерная графика» на факультете ИТ НГУ |
| Соболева О.Н. | — | профессор НГТУ |
| Урев М.В. | — | профессор НГУ |

## Защита докторских диссертаций

Решетова Г.В. Численное моделирование сейсмических и сейсмоакустических волновых полей и разномасштабных и резкоконтрастных средах». Доктор физико-математических наук по специальности 05.13.18. Диплом Серия ДДН № 017684. Решение ВАК об утверждении от 16 сентября 2011 г. № 35д/7.

## Защита кандидатских диссертаций

Терехов А.В. Параллельный алгоритм дихотомии для решения трехдиагональных систем линейных алгебраических уравнений и его приложение к задачам геофизики и физики плазмы». Кандидат физико-математических наук по специальности 05.13.18., диплом серия ДКН № 132029 от 08.04.2011 № 15к/33.